

## **ПОВЕРХНОСТНО-СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК В ПРОЦЕССЕ ИЗНОСА**

**Фирсова Н.В.<sup>2</sup>**

*Руководитель – к.т.н., Крылова С. Е.<sup>1</sup>*

Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) ГОУ ВПО

«Оренбургский государственный университет», г. Орск, Россия,

e-mail: <sup>1</sup>[krilova27@yandex.ru](mailto:krilova27@yandex.ru), <sup>2</sup>[d33d1@yandex.ru](mailto:d33d1@yandex.ru)

Одна из самых острых проблем современности износ машин и механизмов. В условиях металлургического комбината ООО «Уральская сталь», г. Новотроицк Оренбургской обл. потребность в бронефутеровочных плитах доменного агломерационного и коксохимического цехов, изготавливаемых из стали 110Г13Л составляет 48000 шт./год. Известно, что данные детали металлургических агрегатов работают в сложных условиях износа, где сталь Гадфильда обеспечивает работу в течение 5-7 дней. Ежедневно оборудование выводится в ремонт, связанный с заменой бронеплит на новые, что снижает его производительность. При производстве стали Гадфильда, приходится решать ряд моментов, отрицательно влияющих как на технологические так и эксплуатационные свойства отливок. Был проведен анализ причин выхода из строя различных деталей из стали 110Г13Л, работающих в комбинированных условиях износа в условиях металлургического и горнообогатительного производства. Видно, что срок службы, причины поломки, и условия работы этих отливок различны в зависимости от типа агрегатов. Несмотря на этот факт, основной причиной выхода их из строя является изнашивание в процессе истирания при соприкосновении с абразивным материалом. В некоторых случаях происходит разрушение тела отливки, что связано с высокими ударными нагрузками и низкими механическими свойствами (табл.1, 2), несоответствующими требованиям.

Проблема разработки износостойкого материала для конкретных условий абразивного изнашивания решалась следующим образом: был спланирован шестифакторный эксперимент на пяти уровнях, согласно которому составлена матрица математического планирования эксперимента, состоящая из 25 экспериментальных марок сталей с различными вариациями таких элементов как Cr, Mn, Ti, Mo, B, C. Основные легирующие элементы и их концентрации были выбраны на основании предварительных промышленных испытаний, а содержание углерода выбиралось таким, чтобы его хватило для образования необходимого количества карбидов соответствующих элементов, но при этом обеспечивалась бы достаточная ударная вязкость и пластичность металлической основы. Обработка экспериментальных данных проводилась при помощи пакета прикладных программ «KOMPLEX», разработанного НИИЧЕРМЕТ, г. Екатеринбург.

Таблица 1. Срок службы и причины выхода из строя некоторых отливок из стали 110Г13Л металлургического и горнообогатительного производства

№ п/п	Наименование агрегата, отливки	Масса отливок, кг	Срок службы, дни	Причины выхода из строя
1	Щековая дробилка: бронь средняя нижней щеки бронь крайняя нижней щеки	1145 690	6...8 6...8	истирание, излом истирание
3	Шаровая мельница: d 3,2×3,1 футеровка	250	12	истирание
4	Конусная дробилка: бронь конуса бронь неподвижная	890 900	12 12	» »
5	Скруббер: полоса облицовка	43 130	10 10	Истирание, излом То же

Таблица 2. Свойства стали 110Г13Л в отливках, согласно ГОСТ 977-88\*

$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\Psi$ , %	$\delta$ , %	KCU, Дж/см <sup>2</sup>	Балл зерна	Общий индекс загрязненности	Относительная износостойкость
<u>81</u> 90	<u>305</u> 325	<u>37</u> 45	<u>34</u> 40	<u>16</u> 25	<u>1</u> 1	<u>0,026</u> -	<u>1,2</u> -

\* Числитель – свойства в образцах, вырезанных из отливки, знаменатель – рекомендованы ГОСТ 977-88

Использование этого метода позволило получить математические модели и комплексные графические зависимости, отражающие влияние выбранных легирующих элементов на абразивную, ударно-абразивную стойкость и твердость литых сталей, а также получить оптимальный химический состав, сочетающий наилучшие значения абразивной стойкости, ударно – абразивной стойкости и твердости.

Сталь, работающая в условиях износа должна иметь повышенное содержание углерода, а легировать ее целесообразно аустенитообразующими элементами (особенно марганцем, который увеличивает энергию дефектов упаковки), а также сильными карбидообразующими элементами (хром, молибден, титан, бор), которые измельчают структуру и образуют карбиды следующих типов: Fe<sub>3</sub>C, Mn<sub>3</sub>C, (Fe, Mn)<sub>3</sub>C, (Fe, Cr)<sub>3</sub>C, (Fe, Mn, Cr)<sub>3</sub>C, Fe<sub>3</sub>, Mo<sub>3</sub>C, обладающие твердостью 950-1050 HV и являющиеся основной упрочняющей фазой низколегированных сталей. Кроме вышеперечисленных карбидных соединений хром образует специальные карбиды Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> и Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> твердостью 1600-1800 HV, которые относятся к карбидам высокой твердости, образуются в сталях, содержащих 0,8-1 % C и 3-3,5 % Cr. Кроме указанных

карбидов в структуре изучаемых сталей возможно образование фаз внедрения типа  $\text{Mo}_2\text{C}$  и  $\text{TiC}$ , обладающих высокой температурой плавления и высокой твердостью, превосходящей карбиды. Для среднелегированных сталей важным моментом является то, что специальные карбиды выделяются при высоком отпуске в более дисперсной форме, чем цементит. Это обеспечивает дополнительное упрочнение стали, повышенную вязкость металлической основы, так как при комбинированном износе микропустоты зарождаются около мелких частиц специального карбида труднее, чем около более крупных частиц цементита. С учетом вышеуказанных идей и принципов была разработана экономнолегированная литейная сталь, которая после закалки и отпуска при температурах 500-600 °С имеет оптимальное сочетание прочности, пластичности и вязкости и способна обеспечивать уровень свойств: (ударную вязкость, прочность, твердость и абразивную стойкость) в 1,5-2 раза выше по сравнению с уровнем сравниваемых сталей этого же класса, таблица 3.

Таблица 3. Влияние вида термической обработки на механические свойства опытной стали 100Х3Г2МТР

Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	KCU, Дж/см <sup>2</sup>	HRC	AC	УАС
Отжиг при 950 °С в теч.20 ч.	800	15	28	1,65	5,09
Закалка в масло с температуры 950°С+ отпуск 500 °С	840	12	42	1,99	5,32
То же, отпуск 520 °С	950	15	44	2,13	10,1
-//- , отпуск 540 °С	1100	20	44	3,71	14,01

После структурных исследований производили исследование термически обработанных образцов из опытной стали в условиях абразивного износа. Анализ микроструктуры позволил установить, что в процессе износа в результате нагрева рабочей поверхности до 350 °С произошли определенные структурные изменения, связанные с перераспределением и коагуляцией карбидов хрома  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ,  $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$  и  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ , с дополнительным выделением более мелких частиц на основе титана и молибдена  $\text{Mo}_2\text{C}$  и  $\text{TiC}$ , с одновременным формированием вязкой металлической основы (рис. 1), удерживающей данные карбиды.

На основании проведенных исследований из опытной стали оптимального состава были изготовлены футеровочные бронеплиты бункеров доменного цеха, работающие в условиях повышенного износа, а в отдельных случаях при повышенных температурах до 250-300°С для горячего агломерата.

Карбидные включения

M+  
TiC

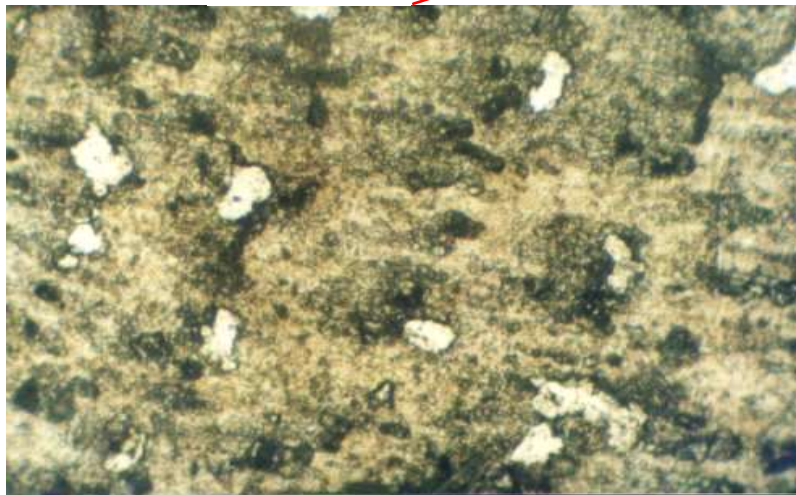


Рисунок 1 - Микроструктура опытной стали, закаленной в масло и отпущенной при температуре 550°C, после эксплуатации в условиях абразивного износа ( $\times 500$ ; мартенситно-трооститно-сорбитная структура + карбидные включения, твердость 58 HRC; металлическая основа  $\sim 70\%$ ,  $H_V = 7000 \text{ МПа}$ ; карбидные включения  $\sim 30\%$ :  $(\text{Fe};\text{Cr})_{23}\text{C}_6$   $H_V = 9850 \text{ МПа}$ ,  $\text{Fe}_3\text{C}$   $H_V = \text{МПаН/мм}^2$ ,  $\text{TiC}$   $H_V = 12050 \text{ МПа}$ )

Опытную сталь марки 100X3Г2МТР выплавляли в фасонно-литейном цехе ОАО «Уральская сталь» в электропечи ДСП-6.0 с основной футеровкой. Твердость поверхности бронеплит после термической обработки составляла 59 HRC. Термообработанные бронеплиты бункеров поступили в доменный цех, где были проведены опытно – промышленные испытания. Опытные бронеплиты были установлены на бункерах №2 и №3 бункерной эстакады доменного цеха одновременно с базовыми бронеплитами из стали 110Г13Л на бункерах №4 и №5. Осмотр бункеров с целью определения степени износа бронеплит из опытной и базовой стали проводили один раз в сутки до их полного износа. В результате внедрения данной технологии количество трудоемких дорогостоящих ремонтов уменьшилось с 48 раз до 12 раз в год, а срок эксплуатации бронеплит бункеров увеличился на 452 часа.